

Física 2

para o Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Jaime E. Villate
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto

Relatório submetido à Universidade do Porto como parte da documentação do concurso para Professor Associado.

Porto, Outubro de 2009

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Reflexões sobre o ensino da Física	3
2.1	Licenciatura em Engenharia Informática e Computação na FEUP	3
2.2	Sistema de Ensino Secundário em Portugal	4
2.3	Universidades fora de Portugal	5
3	A disciplina de Física 2 para o MIEIC	7
3.1	Objectivos	7
3.2	Programa	7
3.3	Experiências e simulações	9
3.4	O Estúdio de Física	10
3.5	Plataforma de B-Learning	11
3.6	Software	12
3.7	Avaliação	14
3.8	Resultados	18
	Bibliografia	20
A	Exames	23
B	Criação de testes usando Maxima	32

1 Introdução

Ao longo dos meus 17 anos de actividade docente na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), tenho leccionado várias disciplinas de Física e Matemática em vários cursos diferentes, mas há uma disciplina que tem estado presente quase todos os anos na minha distribuição de serviço docente: Electromagnetismo (com algumas variações na designação).

Leccionar a mesma disciplina durante 17 anos pode parecer uma actividade repetitiva e monótona mas, no meu caso, não tem sido assim. O ensino do Electromagnetismo continua a enfrentar-me a novos desafios ano após ano. Temas como as células de combustível e os ultracondensadores que actualmente incluo no programa que lecciono, eram completamente desconhecidos para mim há uns poucos anos.

Outra razão que evita que a minha actividade lectiva seja monótona e repetitiva, é que ano após ano os estudantes que recebemos são diferentes. Os seus ideais e o seu entusiasmo próprio dos jovens que ingressam no Ensino Superior estão cada vez orientados para assuntos diferentes. As minhas tentativas de acompanhar esse entusiasmo e criar as condições para que possam alcançar os seus objectivos, conduzem a um processo continuo de actualização e inovação que tornam a actividade docente mais aliciante.

O curso de Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação (MIEIC) na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) foi criado no ano académico 2006-2007 e veio substituir a Licenciatura em Engenharia Informática e Computação (LEIC).

O director desse Mestrado Integrado encarregou-me de propor os conteúdos programáticos para as duas disciplinas de Física do curso. Este relatório explica a proposta feita para a segunda dessas disciplinas (Física 2) e a forma como tem funcionado nestes últimos anos.

Começarei por analisar as disciplinas de Física da antiga Licenciatura em Engenharia Informática e Computação, o estado do ensino da Física no Ensino Secundário e como está a ser leccionada actualmente a Física em outras Universidades estrangeiras. Posteriormente apresentarei o conteúdo, métodos de ensino, métodos de avaliação e resultados da disciplina de Física 2 do MIEIC.

2 Reflexões sobre o ensino da Física

2.1 Licenciatura em Engenharia Informática e Computação na FEUP

Quando a Licenciatura em Engenharia Informática e Computação (LEIC) foi criada na FEUP, em 1994, as duas disciplinas de Física previstas no plano de estudos começaram a ser leccionadas conjuntamente com o curso de Licenciatura em Engenharia Química (LEQ). Essa situação manteve-se até o ano académico 2001-2002.

A primeira disciplina de Física era designada de Física Experimental e leccionada no segundo semestre do primeiro ano, junto com a disciplina de Mecânica Pura e Aplicada da LEQ. A segunda disciplina era designada de Física, leccionada no primeiro semestre do segundo ano; o tema da disciplina era o Electromagnetismo e o texto usado era o livro que escrevi para a disciplina da LEQ [1].

A partir do ano académico 2002-2003 entrou em vigor um novo plano de estudos para a LEIC, em que a primeira disciplina de Física, no segundo semestre do primeiro ano, era o Electromagnetismo e a segunda, no primeiro semestre do segundo ano, era designada de Física dos Sistemas Dinâmicos.

A figura 2.1 mostra o número de estudantes aprovados, reprovados e não avaliados na disciplina de Electromagnetismo, desde o ano 2002-2003 até o último ano em que foi leccionada em 2005-2006. A redução drástica no número de estudantes aprovados no ano 2003-2004 foi devida a que nesse ano o regente da disciplina não fui eu mas outro docente que costumava leccionar essa disciplina no curso de Licenciatura em Engenharia Electrotécnica, com um programa mais exigente.

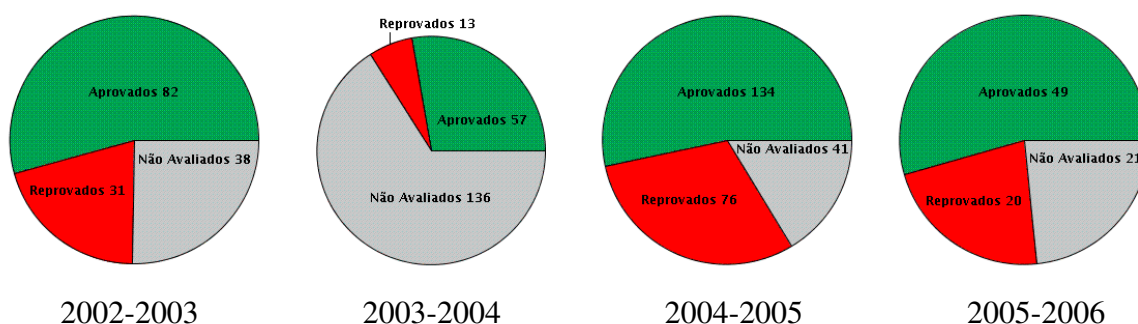


Figura 2.1: Resultados da disciplina de Electromagnetismo da LEIC.

A pesar de existir uma boa estabilidade nos resultados obtidos na disciplina de Electromagne-

tismo (exceptuando o ano 2003-2004), com uma taxa de aprovação elevada em comparação com outras disciplinas de Física na FEUP, a criação do Mestrado Integrado, dentro do espírito da reforma de Bolonha, sugeria que houvesse uma mudança no programa e na metodologia a partir do ano 2006-2007.

Outra razão de peso que me levou a pensar em mudar a metodologia do ensino do Electromagnetismo teve a ver com a constatação de algo que muitos autores têm salientado na literatura [2][3]: Os estudantes aprendem a resolver correctamente problemas de electromagnetismo, mas continuam a ter concepções erradas acerca de conceitos simples como a corrente e a tensão num circuito eléctrico.

2.2 Sistema de Ensino Secundário em Portugal

Na estrutura actual do Ensino Secundário em Portugal, a Física é leccionada aos estudantes que optam pelo Curso Geral de Ciências Naturais ou o Curso Geral de Ciências e Tecnologias. Nesses cursos existem 3 disciplinas relacionadas com a Física: as disciplinas de Física e Química de 10º e 11º ano e a disciplina de Física do 12º ano. A Física de 12º ano é optativa e não é oferecida em muitas escolas secundárias.

Cada uma das disciplinas de Física e Química de 10º e 11º está dividida em dois semestres, sendo um desses semestres dedicado ao ensino da Física e o outro ao ensino da Química. O programa actualmente em rigor para o 10º ano foi homologado em Março de 2001 [4] e o programa para o 11º Ano foi homologado em Março de 2003 [5].

O programa dessas duas disciplinas privilegia um tipo de ensino designado de CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade) em que é enfatizado o conhecimento em acção e as suas repercussões na Sociedade. O programa de Física do 10º ano compreende três unidades; cada uma dessas unidades está dedicada a um tema em que aparece a Física em acção:

- Das fontes de energia ao utilizador.
- Do Sol ao aquecimento.
- Energia em movimentos.

e na Física do 11º Ano há duas unidades:

- Movimentos na Terra e no Espaço.
- Comunicações.

Em cada uma dessas unidades, o tema em discussão acaba por levar à discussão de alguns conceitos físicos. Porém, a forma como aparecem esses conceitos em forma desconexa e sem uma ordem lógica, na minha opinião, não favorece a aprendizagem da Física por parte dos estudantes.

Alguns conceitos importantes aparecem em forma recorrente, mas outros conceitos associados a estes não chegam a ser mencionados. Por exemplo, as três unidades no programa do 10º ano abordam os conceitos de trabalho e energia mecânica. No entanto, em nenhuma dessas unidades é referida a aceleração nem a sua relação com a força, trabalho e energia mecânica. As leis de Newton só são abordadas no 11º ano, na unidade “Movimentos na Terra e no Espaço”.

Outros conceitos físicos importantes surgem dentro do programa da Química e não da Física. Por exemplo, a origem do universo, escalas de tempo, comprimento e temperatura, partículas elementares, efeito fotoelétrico, modelos atômicos e reacções nucleares. No 10º ano é proposto que seja leccionada a Química no primeiro semestre e a Física no segundo e no 11º ano ao contrário, apenas para rentabilizar melhor a utilização dos laboratórios de Química e não por qualquer consideração em relação à ordem lógica de aquisição dos conhecimentos.

Muitos outros países têm adoptado também uma abordagem CTS das ciências no Ensino Secundário, mas sem descuidar a ordem lógica e o carácter axiomático da Física. Em Espanha, por exemplo, o Decreto do 11 de Junho de 2008 estabelece um programa para a disciplina de Física e Química baseado numa abordagem CTSA (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente), mas organizado em “blocos relacionados entre si” [6], que devem seguir uma sequência rigorosa, desde os sistemas mais simples até os mais complexos. O programa segue a ordem de um curso tradicional de Física: cinemática da partícula, dinâmica, trabalho energia e calor, etc.

O programa da Física do 12º Ano em Portugal [7], homologado em Outubro de 2004, segue uma abordagem semelhante, com uma estrutura lógica bem definida, em que os temas de Física em Acção aparecem depois de terem sido desenvolvidos os conceitos. Este programa acaba por ter muitos temas sobrepostos com os programas de 10º e 11º ano.

Devido a que a Física de 12º ano é uma disciplina optativa nos cursos de Ciências Naturais e Ciência e Tecnologia, os estudantes que ingressam na FEUP aos Mestrados Integrados têm níveis de conhecimentos de Física muito variados. Aqueles que tiveram a disciplina de Física de 12º terão uma formação em Física muito mais sólida. A Prova Nacional de Acesso ao Ensino Superior não é uma boa forma de aferir essa formação, porque a prova realizada é sobre Física e Química do 10º e 11º anos e não sobre a Física do 12º ano.

Os métodos de ensino usados nas unidades curriculares de Física nos Mestrados Integrados da FEUP deverão ter em conta essa grande diversidade de preparação em Física entre os estudantes que ingressam.

2.3 Universidades fora de Portugal

Na maior parte das Escolas de Engenharia no mundo são leccionadas disciplinas de Física Básica com programas semelhantes; alguns livros de texto muito usados em todo o mundo são os livros de Halliday e Resnick [8], Sears e Zemanski [9], Alonso e Finn [10] e Tipler [11].

Esses livros foram todos escritos há 30 ou 40 anos. A mudança rápida na tecnologia implica que alguns tópicos perdem interesse e outros tornam-se mais importantes. Por exemplo, os livros tradicionais de Física Universitária costumam abordar o funcionamento de um tubo de raios catódicos, mas não falam dos cristais líquidos nem dos LED. Na época em que foram escritos, os cristais líquidos e os LED provavelmente já tinham sido inventados mas não estavam a ser usados comercialmente, enquanto que qualquer estudante estaria familiarizado com o tubo de raios catódicos do televisor.

Hoje em dia a situação é diferente; é cada vez mais difícil encontrar monitores ou televisores com tubos de raios catódicos, mas estamos rodeados de ecrãs de cristais líquidos (LCD) e díodos emissores de luz (LED). Tornou-se muito mais importante falar de cristais líquidos e díodos

emissores de luz do que o tubo de raios catódicos. Os livros tradicionais aparecem em novas edições com novas secções que abordam as novas aplicações tecnológicas.

Alguns docentes têm decidido aproveitar as vantagens das novas tecnologias de informação e comunicação para tornar as suas aulas mais activas. Um caso interessante é o projecto TEAL (*Technology Enabled Active Learning*) no MIT, em que as aulas teóricas de electromagnetismo passaram a ser leccionadas num Estúdio de Física [12] e foram desenvolvidos programas de computador que permitem visualizar os sistemas electromagnéticos.

Um Estúdio de Física é uma sala que combina algum material de laboratório de Física com recursos multimédia e ferramentas de software. Os estudantes trabalham em grupos e estudam em forma colaborativa os conceitos teóricos, em vez de assistir a uma palestra.



Figura 2.2: O estúdio de Física do MIT (fotografia extraída da referência [12]).

Outro caso importante é a metodologia *Peer Instruction* desenvolvida por Eric Mazur em Harvard. Os estudantes interagem com o docente em tempo real, para orientar o rumo que deverá tomar a aula e os conceitos que deverão ser explicados com maior ênfase [2].

3 A disciplina de Física 2 para o MIEIC

A disciplina de Física dos Sistemas Dinâmicos introduzida na LEIC em 2003-2004 teve muito sucesso. Os estudantes aceitaram muito bem a utilização do Sistema de Álgebra Computacional (CAS) Maxima e a abordagem de temas mais actuais como os sistemas caóticos.

Na estrutura do MIEIC foi proposto que essa disciplina fosse incorporada na Física 1 do primeiro ano. A antiga disciplina de Física leccionada no primeiro ano, Electromagnetismo, passou para a Física 2, no segundo ano. Para dar continuidade à utilização de sistemas de CAS na Física 1, seria importante também aproveitar essa ferramenta na Física 2.

No espírito da reforma de Bolonha, decidimos também tornar a disciplina de Física 2 mais prática e menos teórica e explorar a metodologia do Estúdio de Física usada com sucesso em outras universidades.

3.1 Objectivos

Os objectivos que definimos para a Física 2 foram os seguintes:

Após terem frequentado Física 2 os estudantes deverão poder:

- Analisar circuitos eléctricos simples e explicar o seu funcionamento.
- Reconhecer fenómenos electromagnéticos na experiência quotidiana.
- Explicar o funcionamento de aparelhos eléctricos usando princípios físicos.
- Avaliar diferentes dispositivos eléctricos que realizem funções semelhantes, identificando as vantagens e desvantagens de cada um.

Esses objectivos abrangem vários níveis na taxonomia de Bloom [13] dos objectivos educacionais; desde os níveis baixos no domínio cognitivo: lembrar e compreender, até níveis mais elevados: analisar e avaliar.

3.2 Programa

O programa da Física 2 é basicamente o programa tradicional para uma disciplina de Electricidade e Magnetismo para estudantes de Ciências e Engenharias. No entanto foi feita uma redistribuição na ordem tradicional em que são abordados os assuntos, para conseguir tornar a disciplina mas prática e menos teórica.

Assim, os conceitos de campo eléctrico e potencial electrostático são tratados inicialmente numa forma muito introdutória, para servir unicamente como base para o estudo dos circuitos eléctricos. Um estudo mais aprofundado do campo e do potencial é delegado para um capítulo posterior aos circuitos de corrente contínua. Pareceu-me também necessário estender o programa tradicional para incluir alguns temas de Electrónica que são úteis para os estudantes do MIEIC e que não são abordados em outras disciplinas de anos posteriores.

Para conseguir cobrir todo o programa num semestre, foi preciso prescindir de alguns temas tradicionais. Assim, o cálculo do campo eléctrico e do potencial electrostático produzidos por uma distribuição contínua de carga só é considerado nos poucos casos em que existe alguma simetria.

O programa está dividido em 12 capítulos, correspondentes às doze semanas de aulas teórico-práticas no semestre lectivo do MIEIC:

1. **Carga e força eléctrica.** Estrutura atómica. Electrização. Propriedades da carga. Força entre cargas pontuais. Campo eléctrico. Condutores e Isoladores. Carga por indução
2. **Potencial, corrente e força electromotriz.** Potencial electrostático. Pilhas químicas. Força electromotriz. Condutores e semicondutores. Corrente eléctrica. Potencial e campo nos condutores. Potência eléctrica.
3. **Resistência eléctrica.** Características tensão-corrente. Lei de Ohm. Característica de uma bateria. Código de cores. Resistividade. Supercondutividade. Associações de resistências.
4. **Condensadores.** Capacidade de um condutor isolado. Esfera condutora isolada. Condensadores. Energia eléctrica armazenada num condensador. Associações de condensadores
5. **Circuitos de corrente contínua.** Diagramas de circuito. Leis dos circuitos. Díodos. Circuitos RC.
6. **O campo eléctrico.** Campo eléctrico produzido por cargas pontuais. Propriedades das linhas de campo eléctrico. Fluxo eléctrico. Lei de Gauss.
7. **Potencial electrostático.** Potencial e campo eléctrico. Potencial de cargas pontuais. Superfícies equipotenciais. Pontos críticos do potencial. Potencial e energia electrostática. Potencial nos condutores
8. **O campo magnético.** Força magnética. Força magnética sobre condutores com corrente. Momento magnético. Força magnética sobre partículas com carga. Campo magnético de um fio com corrente. Força entre condutores com corrente.
9. **Indução electromagnética.** Campo eléctrico induzido. Gerador de Faraday. Lei de Faraday. Gerador de corrente alternada. Indutância. Auto-indutância. Circuito LR. Motores de corrente contínua.
10. **Circuitos de corrente alternada.** Tensão alternada. Tensão eficaz. Reactância e impedância. Associação de impedâncias. Ressonância. Conversão de tensão alternada em tensão contínua.
11. **Transístores e amplificadores.** Transístores bipolares. Amplificadores. Amplificador operacional. Realimentação negativa. Seguidor. Amplificador não inversor. Amplificador inversor. Derivador e integrador.

12. **Ondas electromagnéticas e luz.** Equações de Maxwell. Campos induzidos. Campo electromagnético no vácuo. Ondas planas polarizadas. Ondas harmónicas. Espectro electromagnético. Teoria ondulatória da luz. Teoria corpuscular da luz. Díodos emissores de luz (LED).

A bibliografia principal usada é um livro que eu próprio estou a escrever e que está disponível livremente na Web [14].

3.3 Experiências e simulações

No início de cada capítulo é proposta uma experiência simples que os estudantes realizarão, na aula teórico-prática, em grupos de dois ou três e em cooperação com outros grupos.

O objectivo dessas experiências é motivar o estudo do respectivo capítulo. Assim, não é pedida a realização de nenhum relatório; os estudantes exploram livremente com o equipamento ou simulação fornecida, sob supervisão do docente.

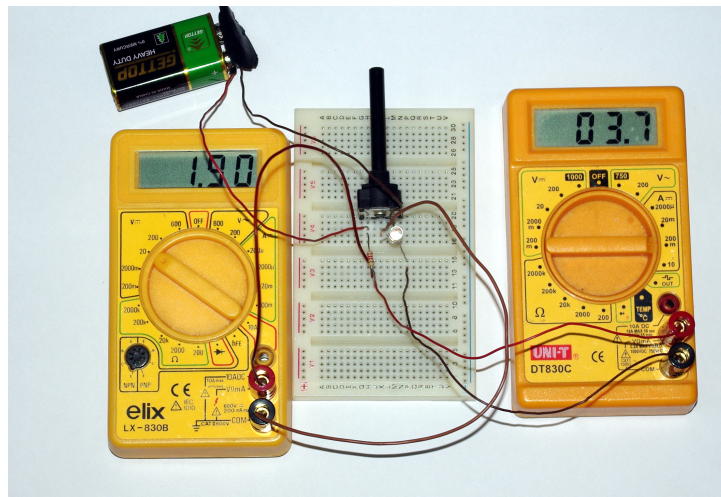


Figura 3.1: Montagem experimental para medir a constante de Planck a partir da característica tensão-corrente de um LED.

A lista de experiências e simulações usadas é a seguinte:

1. Estudo das forças eléctricas atractivas e repulsivas, usando pedaços de fita-cola.
2. Utilização do voltímetro e do amperímetro. Conexão de dispositivos eléctricos usando um *breadboard*.
3. Montagem de um divisor de tensão e utilização na medição da característica tensão-corrente de um condutor ohmico.
4. Processo de descarga de um circuito RC.
5. Associações de resistências em série e em paralelo.
6. Desenho de linhas de campo eléctrico usando o programa Maxima.

7. Desenho de superfícies equipotenciais usando o programa Maxima.
8. Desenho de linhas de campo magnético usando o programa Maxima.
9. Fonte electromotriz induzida numa bobina.
10. Simulador de circuitos de corrente alternada (figura 3.2).
11. Montagem de um amplificador inversor.
12. Medição da constante de Planck a partir da característica tensão-corrente de um LED (figura 3.1).

Outra simulação adicional, usada no capítulo final sobre a luz, é uma simulação de um interferómetro de Michelson, em 3 dimensões, que foi realizada por um grupo de antigos estudantes da disciplina de Física 2 do MIEIC [16]. Os estudantes devem colocar e orientar os espelhos do interferómetro de Michelson virtual, para obter o padrão de interferência. É possível medir o deslocamento das riscas no padrão de interferência para determinar o comprimento de onda do laser. A cor do laser pode ser alterada e é possível colocar uma lente divergente para obter um padrão de interferência com círculos (ver figura 3.2).

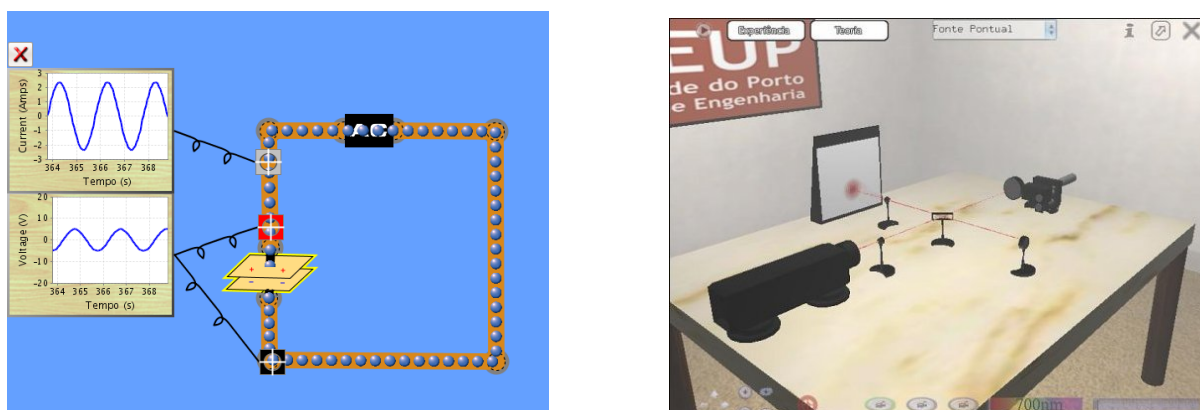


Figura 3.2: Simulador de circuitos de corrente alternada da Universidade de Colorado [15] e simulador do interferómetro de Michelson da FEUP [16].

3.4 O Estúdio de Física

Para a realização das aulas teórico-práticas criamos um Estúdio de Física na FEUP, numa das salas dos laboratórios de ensino do Departamento de Engenharia Física (DEF).

Foram instalados nessa sala 12 computadores pessoais antigos. Alguns deles pertenciam ao antigo parque informático do Centro de Informática da FEUP e outros faziam parte de uma antiga instalação experimental de sistema Grid usado pelo meu grupo de investigação do projecto Atlas-CERN.

Para poder aproveitar os computadores antigos, com unidades de processamento e de armazenamento muito lentas nos padrões actuais, adquirimos um servidor moderno com processadores rápidos e suficiente memória RAM para servir de *Terminal Server* para os restantes PC. Assim,



Figura 3.3: O estúdio de Física do DEF na FEUP.

o computador usado por cada grupo de 2 ou 3 estudantes funciona como terminal, podendo atingir níveis de desempenho semelhantes aos do servidor central [17]

As aulas teórico-práticas são a componente principal da unidade curricular. Os estudantes são encorajados a lerem os apontamentos antes de cada aula, para estarem preparados para a realização da experiência ou simulação. A seguir à realização dessa experiência, os estudantes têm a oportunidade de discutir a matéria do capítulo com os colegas e com o docente, enquanto trabalham na resolução das perguntas e problemas no fim do respectivo capítulo.

Os problemas que não chegam a ser resolvidos na aula teórico-prática, constituem o trabalho para casa dessa semana. Na semana seguinte, durante as aulas teórico práticas o docente resolve os problemas que causaram mais dificuldades. As aulas teóricas são usadas também para motivar o capítulo da semana seguinte, algumas vezes com alguma demonstração, por exemplo, do gerador de Wimshurst ou da indução electromagnética entre dois motores ligados entre si. Também são dadas algumas explicações adicionais nas aulas teóricas, tentando, dentro do possível, não repetir as mesmas explicações dadas no livro.

3.5 Plataforma de B-Learning

A calendarização do trabalho a ser realizado nas aulas teórico-práticas e o acesso às simulações é realizado usando o sistema de *e-learning* Moodle instalado num servidor do Departamento. Nesse sistema também são disponibilizados fóruns para afixação de anúncios e para facilitar o dialogo entre estudantes e docentes.

Para além do acesso ao servidor de *e-learning* os terminais de computador no Estúdio de Física também permitem que os estudantes realizem pesquisas na Web e utilizem o software recomendado para cálculo numérico e algébrico.

O uso do computador no ambiente de aula não deve ser visto como uma fonte de problemas



Figura 3.4: Página da unidade curricular no servidor Moodle.

mas sim como uma forma de enriquecer o ambiente já existente (apontamentos, material de laboratório, trabalho em grupo, etc.) com ferramentas informáticas de comunicação e computação [18].

Na minha experiência durante as aulas no Estúdio de Física, tenho constatado que se for dada aos estudantes a oportunidade de navegar livremente na Web e se tiverem um plano claro do que se espera que seja feito durante a sessão, acabarão por fazer bom uso dos recursos informáticos. Poderão ter alguns momentos de divagação e de desconstracção lúdica, mas no balanço global do trabalho realizado durante cada sessão, parecem-me ser mais produtivos dentro desse ambiente de “Blended Learning” (*b-learning*) do que no ambiente tradicional sem acesso às tecnologias informáticas.

3.6 Software

Quando referi, no fim da secção anterior, as inevitáveis divagações dos estudantes quando enfrentados com as tecnologias informáticas, devo dizer que eu sinto-me bastante solidário com eles já que eu próprio, dentro da minha prática docente, tenho frequentemente divagado e realizado trabalho que pode estar fora da minha área de actividade docente. Mas julgo que o balanço é bastante positivo porque tenho produzido resultados que servem para enriquecer o ambiente de ensino e aprendizagem.

Estou a pensar concretamente na área de desenvolvimento de software que tem ocupado uma grande parte do meu tempo de investigação e de preparação de aulas. Há alguns anos, quando decidi adoptar o software Maxima para apoiar a disciplina de Física dos Sistemas Dinâmicos [19], percebi que faltavam alguns programas que poderiam ser bastante úteis no estudo dos sistemas dinâmicos. Assim, acabei por ingressar na equipa de desenvolvimento do Maxima e criei um pacote para análise de Sistemas Dinâmicos [20] e outro pacote para desenhar Campos de Direcções em forma interactiva [21].

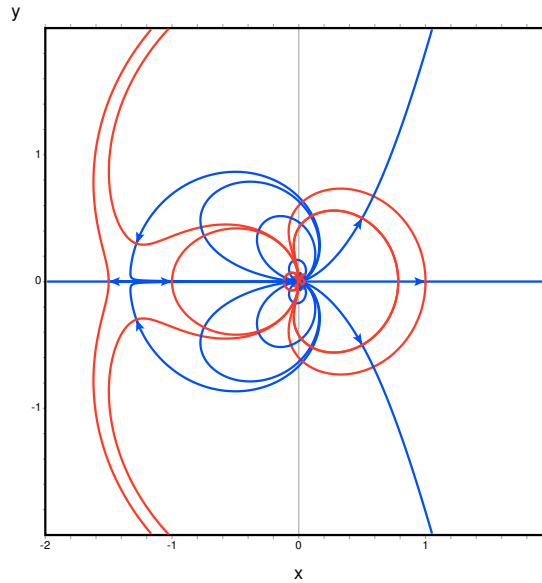


Figura 3.5: Desenho de superfícies equipotenciais e linhas de campo, obtido com o pacote *plotdf* do Maxima.

O pacote usado para desenhar campos de direcções em forma interactiva é particularmente útil no âmbito da Física 2, para visualizar as linhas de campo e superfícies equipotenciais. A figura 3.5 mostra um exemplo. O estudante pode dar a expressão que define o potencial num plano, ou as expressões que definem as duas componentes do campo nesse plano. O programa apresentará uma janela com esse plano, onde o estudante pode clicar num ponto para obter a curva equipotencial ou a linha de campo (ou as duas simultaneamente) que passa por esse ponto.

Outro aspecto ao qual tenho dado importância há muitos anos é à criação de ilustrações e gráficos de alta qualidade gráfica. Uma dificuldade que enfrentam os estudantes de electricidade e magnetismo é que por vezes não conseguem compreender o dispositivo ou situação física que pretende representar uma ilustração. Enquanto preparava o meu doutoramento, desenvolvi um sistema de “macros” na linguagem PostScript [22], que podem ser reutilizadas para criar ilustrações, gráficos de funções e circuitos eléctricos como os que aparecem na figura 3.6. Esse sistema tem facilitado muito a elaboração de enunciados de exames e de apontamentos.

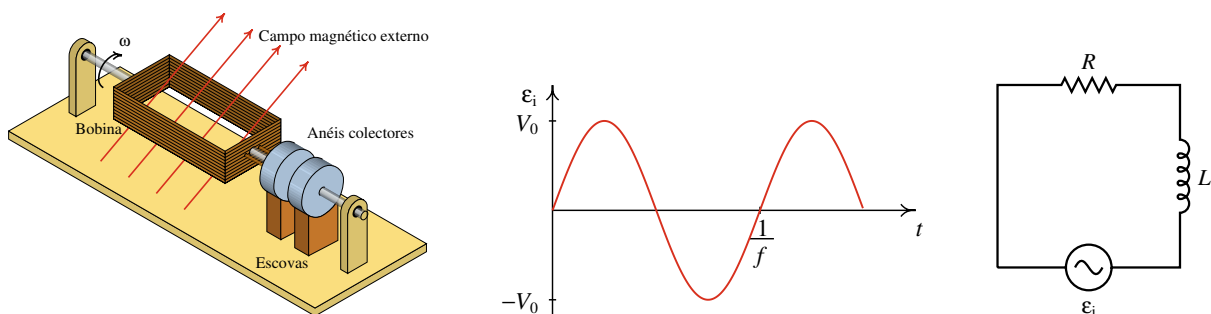


Figura 3.6: Desenho de um gerador de tensão alternada, gráfico da tensão e circuito equivalente, obtidos com o programa *psimage*.

Em relação ao software de *e-learning* Moodle, quando comecei a utilizá-lo no ano 2002, para dar apoio às aulas, não existia uma tradução para o Português; encarreguei-me de fazer essa tradução e actualmente sou o responsável pela actualização dessa tradução. Tenho também criado alguns módulos adicionais para o Moodle, que estão a ser usados na FEUP para avaliação automática na unidade curricular de Programação de Computadores do MIEIC e para avaliar os exames das disciplinas que lecciono, ficando os resultados mais acessíveis aos estudantes.

3.7 Avaliação

A avaliação da disciplina é feita com testes escritos e um exame final. A média dos testes realizados ao longo do semestre constitui a nota de frequência, que tem um peso de 40% na nota final; o exame final tem um peso de 60%.

O exame final é composto por uma primeira parte com 2 problemas e uma segunda parte com 15 perguntas de escolha múltipla. Algumas das perguntas de escolha múltipla avaliam a compreensão dos conceitos, outras implicam a realização de alguns cálculos numéricos e outras pedem para analisar a informação num gráfico.

Devido a que durante todo o semestre é dada importância ao uso da calculadora e programas de cálculo numérico e algébrico no computador, o exame é feito para que seja necessário usar essas ferramentas e os estudantes podem levar para o exame qualquer tipo de calculadora ou computador portátil, que podem usar para fazer cálculos mas não como meio de consulta de apontamentos. Também é permitido a consulta de um formulário que os próprios estudantes podem elaborar.

O apêndice A mostra os enunciados dos exames realizados nos anos académicos 2007-2008 e 2008-2009. Em cada ano há duas épocas, normal e recurso, e de acordo com as normas de avaliação da FEUP os dois exames deverão ter o mesmo grau de dificuldade. As figuras 3.7 e 3.8 mostram a distribuição das notas obtidas nos exames desses dois anos.

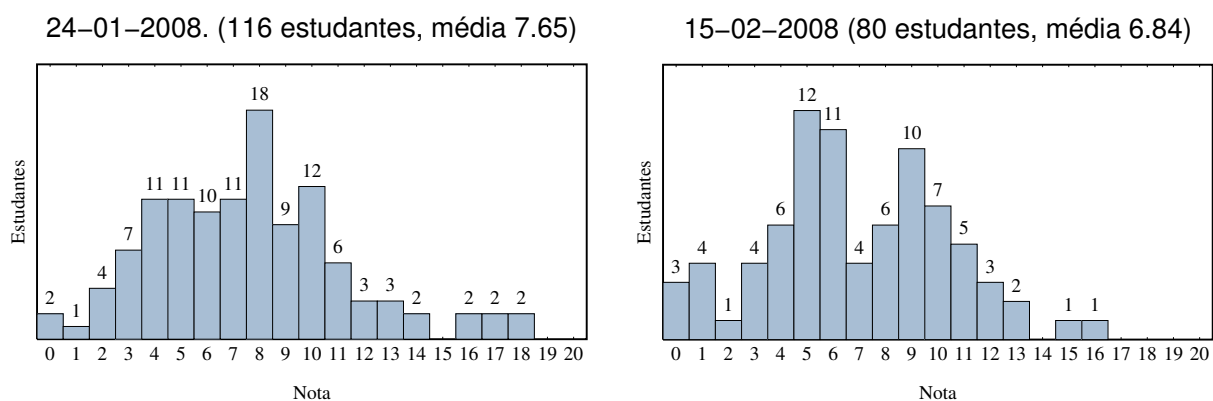


Figura 3.7: Resultados dos dois exames do ano académico 2007-2008.

Na elaboração dos exames foram tidas em conta as recomendações dos especialistas [23]. Nomeadamente, os problemas e perguntas têm o mesmo grau de dificuldade que as perguntas e problemas dados no livro para que os estudantes se preparem para o exame; a matéria avaliada

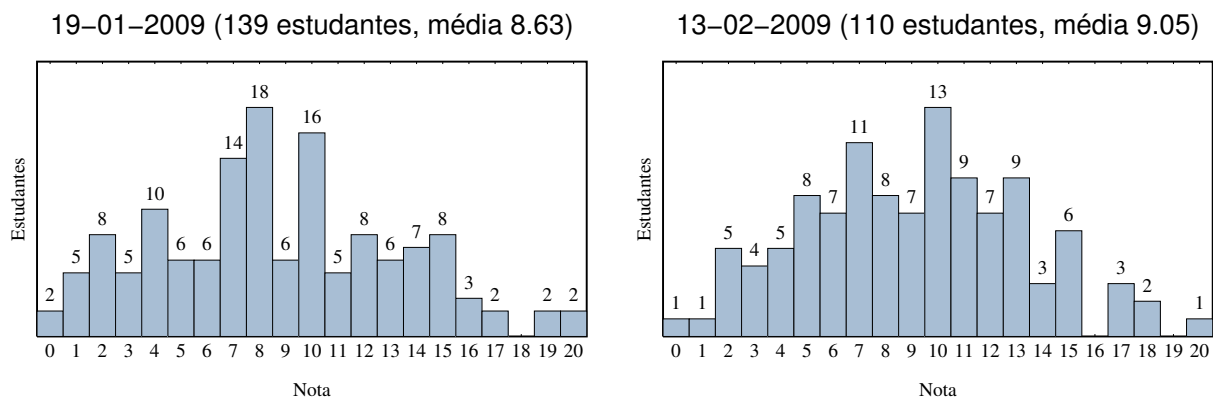


Figura 3.8: Resultados dos dois exames do ano acadêmico 2008-2009.

também é a mesma. É analisado cuidadosamente o tempo necessário para a resolução de cada exame. Uma pequena percentagem do exame é prevista para ser respondida unicamente pelos melhores estudantes, mas de forma a permitir que esses estudantes possam obter a cotação máxima.

As figuras 3.7 e 3.8 corroboram que os exames feitos permitem discriminar o grau de preparação dos estudantes e os melhores estudantes conseguem obter uma nota elevada. No segundo exame do ano 2007-2008 a nota máxima não foi muito elevada, porque houve poucos estudantes inscritos para melhoria da nota (os melhores estudantes só compareceram ao primeiro exame).

Temos destinado muito tempo à elaboração das perguntas de escolha múltipla, para garantir que sejam claras, bem formuladas, e que não tenham erros. Actualmente já temos uma base de dados com muitas perguntas de escolha múltipla, algumas adaptadas de outros autores.

Os testes realizados durante o semestre (aproximadamente 7) ajudam também na preparação do exame. A maior parte desses testes consistem em 8 perguntas de escolha múltipla, para ser respondido em meia hora; outros testes consistem num problema que deverá ser resolvido em meia hora. No fim de cada aula teórico-prática os estudantes podem ser avaliados com um teste sobre a matéria das duas últimas semanas.

Para evitar que os estudantes tentem memorizar as perguntas de escolha múltipla, as perguntas na nossa base de dados incluem uma série de parâmetros que são alterados em forma aleatória. A ordem das perguntas e das respostas também é misturada em forma aleatória. Em cada teste ou exame são feitos vários pontos diferentes, com diferentes parâmetros aleatórios e perguntas e respostas misturadas em forma diferente. Assim, tentamos garantir que o exame seja semelhante para todos os estudantes que fazem o mesmo exame, embora os seus enunciados sejam diferentes.

A criação de perguntas com diferentes parâmetros aleatórios e diferentes ordenações das respostas é feita automaticamente, usando um programa que escrevi na linguagem de programação do Maxima.

A figura 3.9 mostra um exemplo: as duas versões diferentes do mesmo teste foram produzidas executando, no Maxima, duas vezes consecutivas o mesmo comando:

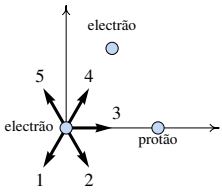
```
teste([p01001,p05003]);
```

1. Um condensador de $720\ \mu\text{F}$, inicialmente descarregado, é carregado ligando uma pilha de $5\ \text{V}$, com resistência interna de $85\ \Omega$. Calcule a carga no condensador $0.1\ \text{s}$ após ter sido ligada a pilha.

(A) $4056.4\ \mu\text{C}$ (D) $579.5\ \mu\text{C}$
 (B) $869.2\ \mu\text{C}$ (E) $2318.0\ \mu\text{C}$
 (C) $2897.5\ \mu\text{C}$

Resposta: ☐

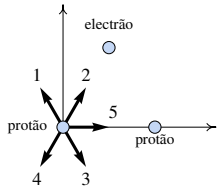
2. Dois electrões e um protão encontram-se nos vértices de um triângulo equilátero. Qual dos vectores representa melhor a força eléctrica resultante sobre o electrão que está na origem?



(A) 4 (D) 5
 (B) 2 (E) 1
 (C) 3

Resposta: ☐

1. Dois protões e um electrão encontram-se nos vértices de um triângulo equilátero. Qual dos vectores representa melhor a força eléctrica resultante sobre o protão que está na origem?



(A) 1 (D) 2
 (B) 5 (E) 3
 (C) 4

Resposta: ☐

2. Um condensador de $732\ \mu\text{F}$, inicialmente descarregado, é carregado ligando uma pilha de $8\ \text{V}$, com resistência interna de $120\ \Omega$. Calcule a carga no condensador $0.2\ \text{s}$ após ter sido ligada a pilha.

(A) $1051.0\ \mu\text{C}$ (D) $5255.1\ \mu\text{C}$
 (B) $4204.1\ \mu\text{C}$ (E) $1576.5\ \mu\text{C}$
 (C) $7357.2\ \mu\text{C}$

Resposta: ☐

Figura 3.9: Duas versões diferentes do mesmo teste, obtidas executando o mesmo comando do Maxima duas vezes.

O programa *teste* neste caso selecciona duas perguntas: a pergunta 1 do capítulo 1 (p01001) e a pergunta 3 do capítulo 5 (p05003), misturando-as aleatoriamente. O apêndice B mostra o código fonte dessas duas perguntas, na linguagem do Maxima; esse código gera alguns parâmetros aleatórios que produzem diferentes resultados cada vez que for executado. O resultado é código na linguagem do sistema de criação de documentos LaTeX que quando processado com esse sistema produz o teste num ficheiro PDF. O código LaTeX inclui também a indicação das respostas correctas que, no caso da figura 3.9, são C e B para o teste do lado esquerdo e A e D para o teste do lado direito.

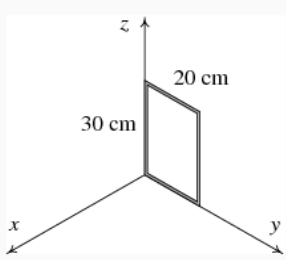
A nossa base de dados de perguntas está sempre em expansão, mas a pesar de que seja dada a um estudante uma pergunta que já encontrou em outro teste, os parâmetros do problema serão diferentes e para poder obter a resposta correcta deverá conseguir reproduzir o mesmo raciocínio que já fez.

A avaliação dos testes e do exame é feita na plataforma de *e-learning* Moodle. O código LaTeX do enunciado do teste ou exame é convertido automaticamente em código XML que pode ser importado para a base de dados de perguntas do Moodle.

O módulo adicional *exam* para o Moodle, da minha autoria, permite que os docentes passem para o computador as respostas dadas pelo estudante. No caso dos problemas, elaboramos uma grelha de avaliação que deverá ser preenchida pelo docente.

A figura 3.10 mostra a interface de entrada de dados para o docente, após ter seleccionado o estudante dentro da lista com os nomes e fotografias e após ter indicado qual foi o número do ponto respondido pelo estudante. No caso das perguntas de escolha múltipla, o docente apenas

(a) Calcule a *fem* induzida na espira, em função do tempo t , a partir do instante $t = 0$. (b) Diga (justificando) qual é o sentido da corrente induzida na espira.



☐ Calculou a área da espira em unidades SI (10%)

☐ Usou a equação correcta para calcular o fluxo magnético (10%)

☐ Identificou correctamente a componente normal do campo (10%)

☐ Encontrou a expressão correcta para o fluxo em função do tempo (10%)

☐ Usou a equação de Faraday para calcular a *fem* induzida (10%)

☐ Encontrou a expressão correcta para a *fem* induzida em função do tempo (10%)

☐ Usou um argumento válido para identificar o sentido da corrente induzida (20%)

☐ Indicou o sentido correcto da corrente, em forma consistente com a justificação dada (20%)

3. Uma resistência transporta uma corrente I . A potência dissipada na resistência é P . Qual será a potência dissipada se a mesma resistência transportar uma corrente $3I$?

☐ Em branco

☐ **A** $3P$

☐ **B** $9P$

☐ **C** P

☐ **D** $P/3$

☐ **E** $9/P$

Figura 3.10: Interface do módulo *exam* para o avaliador.

tem que passar a resposta do estudante. No caso dos problemas, o docente terá que avaliar a resolução, na forma tradicional, e seleccionar os itens da grelha que julgar apropriados. Quando o formulário tiver sido preenchido e submetido, a nota será calculada automaticamente.

Quando o docente tornar visível o resultado do teste ou exame, o módulo *exam* mostrará a cada estudante uma página com a avaliação do seu teste. A figura 3.11 mostra a página apresentada a um estudante, correspondente à parte da avaliação na figura 3.10.

Assim, os estudantes têm acesso imediato à sua avaliação desde qualquer local com acesso à Web. A grelha de avaliação mostra ao estudante os critérios que foram tidos em conta para lhe atribuir a classificação. Julgando pela redução drástica que temos experimentado no número de estudantes que comparecem no dia da revisão de exames, podemos concluir que em geral os estudantes ficam suficientemente esclarecidos sobre o processo de avaliação e sentem que estão a ser avaliados em forma justa.

O módulo *exam* para o Moodle e o sistema de criação de testes com parâmetros aleatórios ainda estão na fase de desenvolvimento e, por isso, não têm sido disponibilizados nos servidores públicos dos projectos Moodle e Maxima.

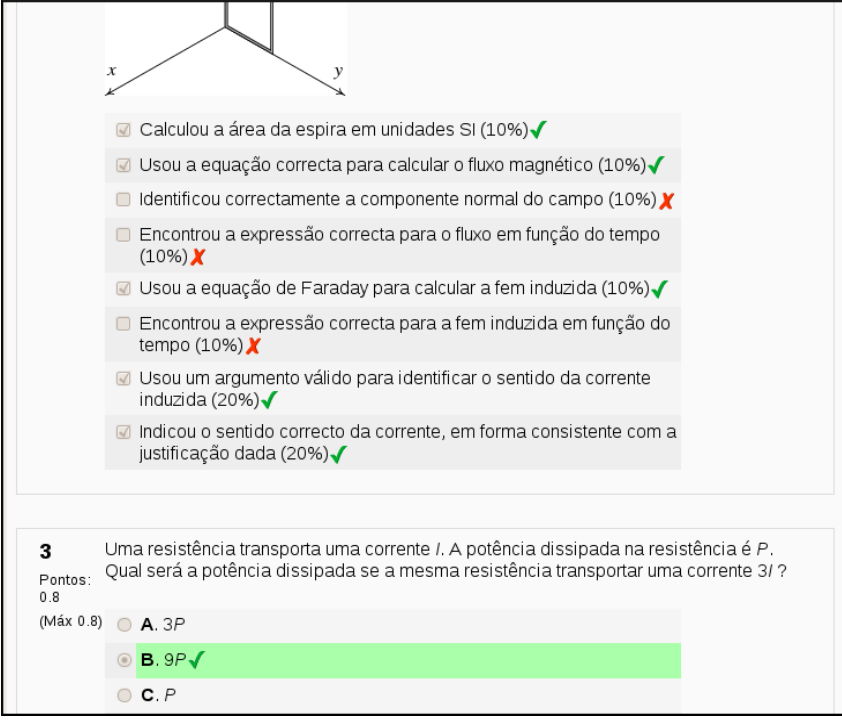


Diagrama de uma espira triangular no plano xy .

- ☒ Calculou a área da espira em unidades SI (10%) ✓
- ☒ Usou a equação correcta para calcular o fluxo magnético (10%) ✓
- ☐ Identificou correctamente a componente normal do campo (10%) ✗
- ☐ Encontrou a expressão correcta para o fluxo em função do tempo (10%) ✗
- ☒ Usou a equação de Faraday para calcular a fem induzida (10%) ✓
- ☐ Encontrou a expressão correcta para a fem induzida em função do tempo (10%) ✗
- ☒ Usou um argumento válido para identificar o sentido da corrente induzida (20%) ✓
- ☒ Indicou o sentido correcto da corrente, em forma consistente com a justificação dada (20%) ✓

3 Uma resistência transporta uma corrente I . A potência dissipada na resistência é P . Qual será a potência dissipada se a mesma resistência transportar uma corrente $3I$?

Pontos: 0.8 (Máx 0.8)

☐ A. $3P$

☒ B. $9P$ ✓

☐ C. P

Figura 3.11: Interface do módulo *exam* para o estudante.

3.8 Resultados

A metodologia usada na disciplina de Física 2 do MIEIC tem sido bem aceite por parte dos estudantes. As aulas são bastante activas e com boa participação dos estudantes.

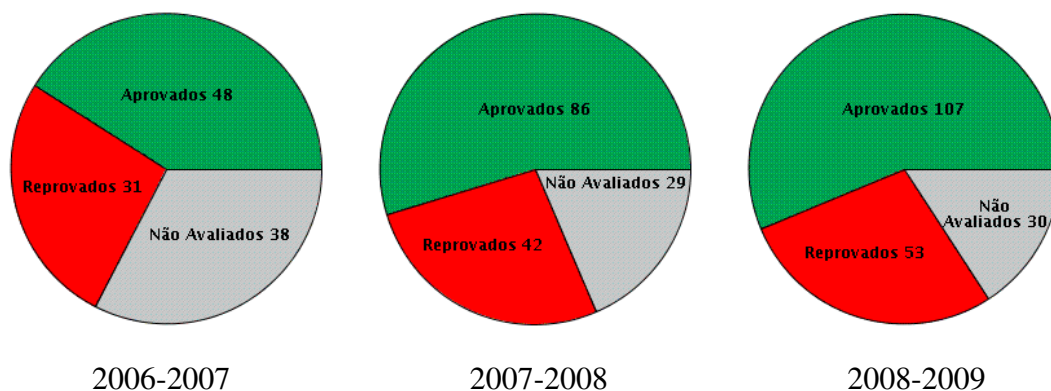


Figura 3.12: Resultados da disciplina de Física 2 do MIEIC.

A figura 3.12 mostra os resultados obtidos nos 3 anos em que tem existido o MIEIC. No primeiro ano, 2006-2007, a disciplina de Física 2 foi leccionada por um docente que costuma leccionar no Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica, usando o método tradicional. Nesse ano, devido às equivalências feitas entre a antiga Licenciatura e o Mestrado Integrado, houve um

número de estudantes inscritos muito menor que o habitual; no entanto, unicamente 41% dos estudantes inscritos foram aprovados à disciplina.

No ano académico 2007-2008, quando foi leccionada pela primeira vez a Física 2 usando a metodologia descrita neste relatório, a percentagem de estudantes aprovados aumentou para 55%. No ano 2008-2009 houve um ligeiro aumento para 56%. Algo positivo nos resultados deste último ano, em relação aos anos anteriores, é que o número de estudantes não avaliados tem vindo a diminuir. Isso quer dizer que conseguimos motivar mais estudantes a frequentar a disciplina.

Outro factor positivo, que pode ser observado nas figuras 3.7 e 3.8 é o aumento no número de estudantes com nota máxima no exame. Claro está que há muitos factores diversos que poderão ter contribuído para esse aumento, alguns que não têm a ver com a forma como a disciplina é leccionada.

Finalmente, do ponto de vista dos docentes que estamos envolvidos na docência desta disciplina, esta metodologia torna mais agradável o ensino. Docentes mais motivados para o ensino deverá reflectir-se a longo prazo em estudantes melhor preparados.

Bibliografia

- [1] Villate, J. E. “Electromagnetismo”, Mc Graw-Hill, Lisboa, 1999.
- [2] Mazur, E. “Peer Instruction; a User’s Manual”. Prentice Hall, New Jersey, 1997.
- [3] Silva, A. A. “Didáctica da Física. Perspectivas centradas na evolução conceptual”. ASA Editores, Porto, 1999.
- [4] Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário. “Programa de Física e Química A, 10º Ano”. Lisboa, 2001.
- [5] Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário. “Programa de Física e Química A, 11º Ano”. Lisboa, 2003.
- [6] “Boletín Oficial del Estado”, Número 147. Espanha, 18 de Junho de 2008, págs. 27570–27574.
- [7] Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário. “Programa de Física, 12º Ano”. Lisboa, 2004.
- [8] Halliday D. e Resnick, R. “Physics for Students of Science and Engineering”. John Wiley and Sons, Nova Iorque, 1960.
- [9] Sears F. W. e Zemansky, M. W. “University Physics”. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1964 .
- [10] Alonso, M. e Finn, E. J. “Physics”. Addison-Wesley, Menlo Park, California, 1970.
- [11] Tipler, P. A. “Physics”. Worth Publishers, Nova Iorque, 1976.
- [12] Belcher, J. W. “TEAL- Technology Enabled Active Learning”, 20 de Outubro de 2001, <http://groups.csail.mit.edu/mac/projects/icampus/projects/teal.html>. Acesso em 5 de Outubro de 2009.
- [13] Anderson, L. W. e Krathwohl, D. R., editores. “A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom’s Taxonomy of educational objectives: Complete edition”. Longman, New York, 2001, págs. 67–68.
- [14] Villate, Jaime E. “Física 2”. Porto, 2009, ISBN: 978-972-99396-2-4. Disponível em: <http://www.lulu.com/product/download/física-2/5471000>
- [15] PhET Project at the University of Colorado. “PhET Interactive Simulations”. <http://phet.colorado.edu/>. Acesso em 5 de Outubro de 2009.
- [16] Teixeira D. D., Pereira, F. J., Carvalho, J. F. B., Leitão, S. M. B., Bencatel, R., Villate, J. E. , Restivo, M. T., Chouzal, M. F. e Almeida, F. G. . “A Michelson Interferometer for a Virtual Laboratory”. Actas de M2D’2006 - *Fifth International Conference on Mechanics and Materials in Design*, Porto, Portugal, Julho 24 a 26 de 2006, editado por J. F. S. Gomes e S. A. Meguid, Edições INEGI, ISBN 972-8826-11-7, págs. 553–554.

- [17] “Linux Terminal Server Project (LTSP)”. In: *WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre*. Florida, Wikimedia Foundation, 2009. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/LTSP>. Acesso em 5 de Outubro de 2009.
- [18] Brabazon, T. “The University of Google. Education in the (Post) Information Age”. Ashgate Publishing, England, 2007.
- [19] Villate, J. E. “Teaching Dynamical Systems with Maxima”. In: *Computer Algebra in Education*, editores: M. J. Wester e M. Beaudin, Aulonna Press, 2008, ISBN: 978-0-9754541-9-6, págs. 125–133.
- [20] Villate, J. E. “Dynamics. A package for analysis of Dynamical Systems in Maxima”. http://maxima.sourceforge.net/docs/manual/en/maxima_49.html. Acesso em 5 de Outubro de 2009.
- [21] Villate, J. E. “Plotdf. A package to plot interactive Direction Fields in Maxima”. http://maxima.sourceforge.net/docs/manual/en/maxima_68.html. Acesso em 5 de Outubro de 2009.
- [22] Villate, J. E. “Psimage”. <http://quark.fe.up.pt/psimage/>. Acesso em 5 de Outubro de 2009.
- [23] Felder, R. M. “Designing tests to maximize learning”. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 128 (1), 2002, págs. 1–3.

A Exames

Neste apêndice são apresentados os enunciados completos dos exames de Física 2, época normal e época de recurso, realizados no anos académicos 2007-2008 e 2008-2009.

Os resultados obtidos pelos alunos que se submeteram a estes exames foram apresentados nas figuras 3.7 e 3.8.

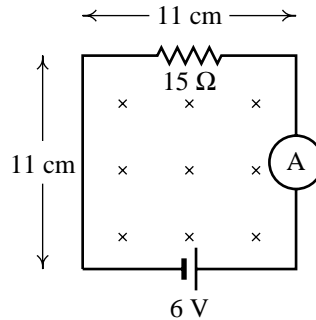
NOME: _____ LOG-IN FEUP: _____

Exame final

24 de Janeiro de 2008

Duração: Duas horas. Com consulta de formulário. Pode usar calculadora, mas **apenas para fazer contas** e nunca como meio de cópia ou de consulta!

Problema 1 (4 valores). O circuito apresentado na figura encontra-se dentro de um campo magnético uniforme, que aponta para dentro da página e com módulo que decresce a uma taxa constante de 150 tesla cada segundo. Calcule o valor que será medido no amperímetro.



Problema 2 (4 valores). Uma bobina tem indutância de 36 mH e resistência de 40 Ω. A bobina liga-se em paralelo com um condensador de 32 nF e com uma fonte alternada de tensão $V(t) = 345 \cos(150\pi t)$ (em volts, e o tempo t em segundos). Calcule: (a) A corrente máxima na bobina. (b) A corrente eficaz no condensador. (c) A potência média dissipada na bobina.

PERGUNTAS

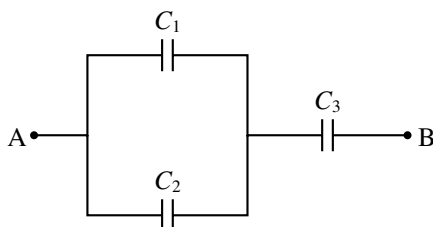
Cotação: Total, 12 valores. Cada resposta certa, 0,8, erradas, -0,2, em branco, 0. Arredonde as suas respostas ao número de algarismos significativos usados nas respostas dadas.

- A resistência de um condutor metálico é igual a 3 kΩ, a 20°C. Quando a temperatura aumenta para 50°C, a resistência aumenta para 3,5 kΩ. Calcule o valor do coeficiente de temperatura, α , a 20°C.
- A corrente num condutor varia linearmente desde um valor inicial de 9 A, em $t = 0$, até o valor final 2 A, em $t = 4$ h. A carga total transportada pelo condutor durante esse período foi:

- (A) $8.3 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (D) $5.6 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 (B) $16.7 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (E) $3.3 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
 (C) $10 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Resposta:

- Três condensadores são ligados conforme a figura. $C_1 = 5.0 \text{ } \mu\text{F}$, $C_2 = 4.0 \text{ } \mu\text{F}$, $C_3 = 3.0 \text{ } \mu\text{F}$. Se a diferença de potencial aplicada entre os pontos A e B for 12 V qual é a energia armazenada em C_3 ?



- (A) 41 μJ (D) 0.16 mJ
 (B) 0.12 mJ (E) 16 mF
 (C) 0.41 mJ

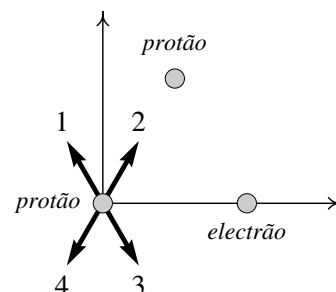
Resposta:

- A corrente num condutor varia linearmente desde um valor inicial de 9 A, em $t = 0$, até o valor final 2 A, em $t = 4$ h. A carga total transportada pelo condutor durante esse período foi:

- (A) 28.8 kC (D) 129.6 kC
 (B) 100.8 kC (E) 50.4 kC
 (C) 79.2 kC

Resposta:

- Dois prótons e um electrão encontram-se nos vértices de um triângulo equilátero. Qual dos vectores representa melhor a força eléctrica resultante sobre o próton que está na origem?



- (A) A força é nula (D) 4
 (B) 1 (E) 3
 (C) 2

Resposta:

5. Uma resistência transporta uma corrente I . A potência dissipada na resistência é P . Qual será a potência dissipada se a mesma resistência transportar uma corrente $3I$?

(A) $9/P$ (D) $3P$
 (B) $9P$ (E) P
 (C) $P/3$

Resposta: ☐

6. A resistência de um díodo no modo directo:

(A) Aumenta em função da corrente no díodo.
 (B) Diminui em função da corrente no díodo.
 (C) É constante, independentemente da corrente.
 (D) É nula.
 (E) É infinita.

Resposta: ☐

7. Um plano com 2500 cm^2 de área tem uma carga total de 20 nC , distribuída uniformemente. O módulo do campo eléctrico perto do plano é, aproximadamente:

(A) 18.1 mN/C (D) 45.2 N/C
 (B) 4.52 kN/C (E) 0.452 N/C
 (C) 1.81 N/C

Resposta: ☐

8. Qual das seguintes afirmações é verdadeira?

(A) A velocidade média dos electrões livres num fio metálico é no sentido oposto ao campo eléctrico.
 (B) Num fio metálico o sentido da corrente é o sentido da velocidade média dos electrões livres.
 (C) Num amplificador operacional, se o sinal de saída for realimentado para uma das entradas (positiva ou negativa) evita-se que a tensão de saída seja a tensão de saturação.
 (D) A impedância de entrada de um amplificador operacional é muito pequena.
 (E) A luz é uma onda harmónica.

Resposta: ☐

9. Existe um campo eléctrico uniforme entre duas placas paralelas separadas por 2.0 cm . O módulo do campo é 30 kN/C . Qual é a diferença de potencial entre as placas?

(A) 60 kV (D) 1.5 MV
 (B) 15 kV (E) 27 kV
 (C) 0.6 kV

Resposta: ☐

10. Um segmento de fio condutor rectilíneo, que transporta uma corrente I , encontra-se numa região onde existe um campo magnético uniforme. Se a força magnética sobre o fio for nula, o que é que podemos concluir acerca do campo magnético?

(A) Não podemos concluir nada acerca do campo magnético.
 (B) O campo magnético é nulo.
 (C) Trata-se de uma situação impossível.
 (D) O campo magnético é perpendicular ao fio.
 (E) O campo magnético é paralelo ao fio.

Resposta: ☐

11. Uma bobina circular tem 20 voltas, cada uma com raio de 5.0 cm . Existe um campo magnético de 0.15 T que faz um ângulo de 30° com a perpendicular à bobina. Calcule o binário que actua sobre a bobina quando a corrente nela for de 2.5 A .

(A) $1.5 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}$ (D) $2.9 \times 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}$
 (B) $5.1 \times 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}$ (E) $9.4 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{m}$
 (C) $0.59 \text{ N}\cdot\text{m}$

Resposta: ☐

12. Uma barra condutora, com 25 cm de comprimento, desloca-se com velocidade uniforme de 12 m/s , num plano perpendicular a um campo magnético uniforme de 80 G . Calcule a diferença de potencial induzida entre os extremos da barra.

(A) 240 V (D) 0.384 V
 (B) 0.24 V (E) 3.84 kV
 (C) 0.024 V

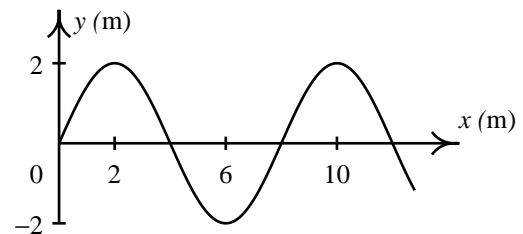
Resposta: ☐

13. Um condensador de $2.73 \mu\text{F}$ e uma resistência de 1166Ω estão ligados em série a uma fonte de tensão alternada de 50 Hz . Podemos concluir que a tensão da fonte estará:

(A) Adiantada 90° em relação à corrente.
 (B) Adiantada 45° em relação à corrente.
 (C) Atrasada 90° em relação à corrente.
 (D) Atrasada 45° em relação à corrente.
 (E) Em fase com a corrente.

Resposta: ☐

14. A figura representa uma onda harmónica que se desloca para a direita, com velocidade de 4 m/s . Qual é a equação que melhor representa a onda?



(A) $y(x,t) = 4 \sin(16\pi x/4 - 8\pi t)$
 (B) $y(x,t) = 2 \sin(\pi x/4 - \pi t)$
 (C) $y(x,t) = 2 \sin(16\pi x/4 - 8\pi t)$
 (D) $y(x,t) = 4 \sin(\pi x/4 - \pi t)$
 (E) $y(x,t) = 2 \sin(\pi x/4 + \pi t)$

Resposta: ☐

15. Uma carga de $4 \mu\text{C}$ encontra-se dentro de um campo eléctrico com módulo igual a $4 \times 10^5 \text{ N/C}$. Qual é o trabalho necessário para deslocar essa carga uma distância de 20 cm numa direcção a 60° com o campo eléctrico?

(A) 160 mJ
 (B) 0.68 J
 (C) 28 J
 (D) 0.28 J
 (E) 16 J

Resposta: ☐

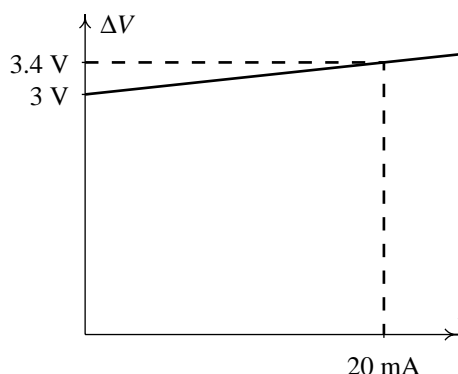
NOME: _____ LOG-IN FEUP: _____

Exame de recurso

15 de Fevereiro de 2008

Duração: Duas horas. Com consulta de formulário. Pode usar calculadora, mas **apenas para fazer contas** e nunca como meio de cópia ou de consulta!

Problema 1 (4 valores). As lanternas mais eficientes que existem actualmente usam LED, em vez de lâmpadas incandescentes. Um aluno vai construir uma lanterna usando uma pilha com fem de 9.5 V e resistência interna de 3.2Ω , ligada em série com dois LED brancos. O gráfico mostra a característica tensão-corrente de cada LED. Para evitar queimar os LED, deverá ser ligada também uma resistência protectora, em série, para garantir que a corrente em cada LED seja igual a 15 mA. Calcule o valor da resistência protectora.



Problema 2 (4 valores). Duas superfícies condutoras esféricas e concêntricas têm raios de 11 cm e 17 cm. A superfície menor tem uma carga total de 3 nC e a carga total na superfície maior é de -2 nC. Calcule a diferença de potencial entre as duas superfícies.

PERGUNTAS

Cotação: Total, 12 valores. Cada resposta certa, 0.8, erradas, -0.2 , em branco, 0. Arredonde as suas respostas ao número de algarismos significativos usados nas respostas dadas.

- A capacidade eléctrica de um condutor isolado:
 - Diminui se o condutor tiver um dieléctrico à sua volta.
 - É independente do tamanho do condutor.
 - Mede-se em unidades de J/C.
 - É igual ao trabalho necessário para deslocar uma carga desde o infinito até o condutor.
 - É independente da carga acumulada no condutor.

Resposta:
- Carrega-se um condensador e logo deixa-se descarregar através de uma resistência. Com que fracção da diferença de potencial inicial ficará o condensador, após um tempo igual a 2 constantes de tempo?

(A) 0.368	(C) 0.0498	(E) 0.00674
(B) 0.135	(D) 0.0183	

Resposta:
- Se aumentarmos a carga de um condensador de placas paralelas de $3 \mu\text{C}$ para $9 \mu\text{C}$ e aumentarmos a separação entre as placas de 1 mm para 3 mm, então a energia armazenada no condensador varia de um factor

(A) 9	(C) 8	(E) $1/3$
(B) 3	(D) 27	

Resposta:
- Dois cabos A e B são feitos do mesmo metal e têm o mesmo comprimento. O cabo A tem o dobro do diâmetro do cabo B. Se a resistência do cabo B for R , qual será a resistência do cabo A?

(A) $2R$	(C) $4R$	(E) $R/4$
(B) $R/2$	(D) R	

Resposta:
- Perto de uma carga pontual existe um ponto onde o potencial eléctrico produzido pela carga é 3 V (arbitrando potencial nulo no infinito) e o módulo do campo eléctrico da carga é 200 N/C. Calcule a distância desde a carga até ao ponto.

(A) 3 m	(C) 1.5 cm	(E) 6.7 cm
(B) 3 cm	(D) 0.67 cm	

Resposta:
- Um fio de cobre número 10 (2.588 mm de diâmetro) tem uma resistência de 0.32Ω à temperatura de 20°C . Qual é o comprimento do fio?

(A) 1.6 km	(C) 31 m	(E) 65 m
(B) 99 m	(D) 4.0×10^2 m	

Resposta:

7. Uma esfera condutora de 3 cm de raio, isolada e com carga positiva, produz um campo de módulo $36 \mu\text{N/nC}$, num ponto que se encontra a 1 cm da superfície da esfera. Calcule a carga total da esfera.

(A) 3.6 nC (C) 1.6 nC (E) 1.2 nC
(B) 0.4 nC (D) 6.4 nC

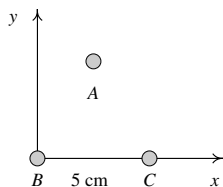
Resposta:

8. Uma pilha AA tem uma carga total de 8 A h. Se for ligada a uma resistência produzindo uma corrente média de 50 mA durante 50 horas, com que percentagem da sua carga ficará após as 50 horas?

(A) 31 % (C) 21 % (E) 131 %
(B) 50 % (D) 69 %

Resposta:

9. Três fios rectilíneos, compridos e paralelos, transportam todos uma corrente de 2 mA no mesmo sentido (perpendicular à folha). A distância entre quaisquer dois fios vizinhos é 5 cm. Calcule o ângulo que a força magnética sobre o fio B faz com o semi-eixo positivo dos x.



(A) 27° (C) 90° (E) 30°
(B) 60° (D) 45°

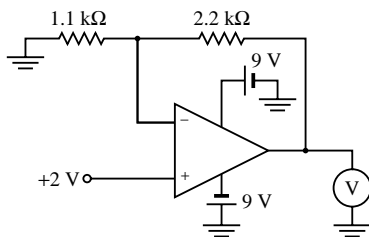
Resposta:

10. Uma partícula alfa é formada por dois prótons mais dois neutrões. Se uma partícula alfa se deslocar com velocidade igual a $6.15 \times 10^5 \text{ m/s}$, numa direcção perpendicular a um campo magnético com módulo $B = 0.27 \text{ T}$, qual será o valor da força magnética sobre a partícula?

(A) $5.3 \times 10^{-14} \text{ N}$ (D) zero
(B) $3.3 \times 10^5 \text{ N}$ (E) $4.8 \times 10^5 \text{ N}$
(C) $2.7 \times 10^{-14} \text{ N}$

Resposta:

11. No amplificador da figura, os valores das tensões são referidas ao potencial igual a 0 na terra. Qual será o valor da tensão medida no voltímetro?



(A) 4 V (C) 9 V (E) 27 V
(B) 6 V (D) 18 V

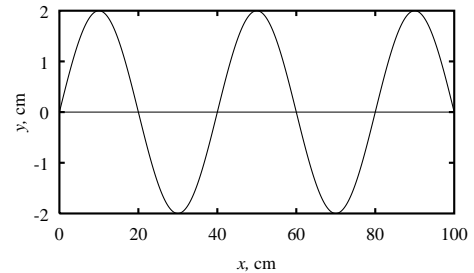
Resposta:

12. Se o número de espiras numa bobina for reduzido para metade, e a corrente através da bobina triplicada, mantendo outras propriedades constantes (área das espiras, forma, etc.), a sua auto-indutância:

(A) Aumenta num factor de 4 (D) Diminui num factor de 6
(B) Aumenta num factor de 6 (E) Diminui num factor de 4
(C) Aumenta num factor de 9

Resposta:

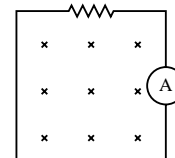
13. A figura representa uma onda harmónica, com frequência de 3 Hz, que se desloca para a direita. Calcule a velocidade da onda.



(A) 90 cm/s (C) 60 cm/s (E) 13 cm/s
(B) 6 cm/s (D) 1.2 m/s

Resposta:

14. O circuito apresentado na figura encontra-se dentro de um campo magnético uniforme, que aponta para dentro da página e com módulo que varia em função do tempo. Qual das seguintes afirmações é verdadeira?



(A) A corrente induzida é no sentido horário.
(B) A corrente induzida é no sentido anti-horário.
(C) Não existe corrente induzida.
(D) Falta informação para saber o sentido da corrente induzida.
(E) A corrente induzida será alternada.

Resposta:

15. Qual das afirmações seguintes é verdadeira, em relação a uma bobina de 2 mH e um condensador de 5 pF?

(A) A reactância da bobina é menor.
(B) A reactância do condensador é menor.
(C) Se a corrente for contínua, a reactância da bobina é menor.
(D) Se a corrente for contínua, a reactância do condensador é menor.
(E) Se a corrente for contínua, a reactância dos dois dispositivos é nula.

Resposta:

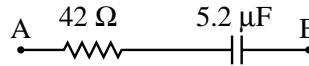
NOME: _____ LOG-IN FEUP: _____

Exame final

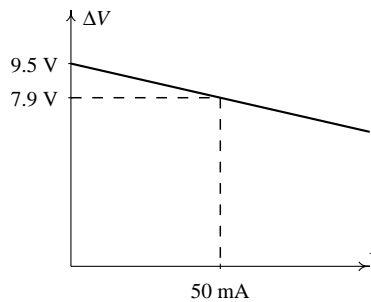
19 de Janeiro de 2009

Duração: Duas horas. Com consulta de formulário. Pode usar calculadora, mas **apenas para fazer contas** e nunca como meio de cópia ou de consulta!

1. (5 valores).



No circuito representado na figura, encontre uma expressão matemática para a corrente na resistência, em função do tempo (em unidades SI), quando entre os pontos A e B for ligada: (a) Uma fonte ideal de tensão alternada, com tensão máxima de 30 V e frequência de 45 Hz. (b) Uma pilha com característica tensão-corrente indicada no gráfico seguinte:



2. (3 valores). Uma onda electromagnética plana propaga-se no sentido positivo do eixo dos y . Num dado instante $t = 0$ o campo eléctrico é $\vec{E} = E_0 \sin(3.2 \times 10^7 y) \vec{k}$, onde y é medido em metros. (a) Calcule o comprimento de onda. (b) Calcule a frequência. (c) Diga qual é a direcção de polarização da onda.

PERGUNTAS

Cotação: Total, 12 valores. Cada resposta certa, 0.8, erradas, -0.2 , em branco, 0. Arredonde as suas respostas ao número de algarismos significativos usados nas respostas dadas.

3. A evidência experimental indica as seguintes propriedades para a carga eléctrica:

- (A) conservação e quantização.
- (B) conservação mas não quantização.
- (C) quantização mas não conservação.
- (D) nem quantização nem conservação.
- (E) conservação, mas apenas a baixas energias.

Resposta:

4. Num condutor ligado a uma pilha com fem de 1.5 V, circulam 10^{16} electrões de condução durante 2 segundos. Calcule a potência média fornecida pela fem.

- (A) 1.6 mW (C) 1.2 mW (E) 2.0 mW
- (B) 0.8 mW (D) 2.4 mW

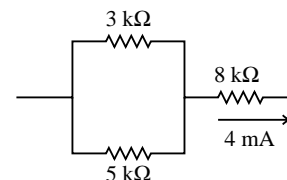
Resposta:

5. Um fio de 10 m de comprimento e 1.0 mm de diâmetro tem uma resistência de 5.0 Ω. Qual será a resistência de um segundo fio, do mesmo material mas com 3.0 m de comprimento e 4.0 mm de diâmetro?

- (A) 1.7 Ω (C) 0.094 Ω (E) 0.75 Ω
- (B) 0.38 Ω (D) 0.27 kΩ

Resposta:

6. No circuito da figura, sabendo que a corrente através da resistência de 8 kΩ é 4 mA, calcule a corrente na resistência de 5 kΩ.



- (A) 0.5 mA (C) 2.0 mA (E) 3.0 mA
- (B) 1.5 mA (D) 2.5 mA

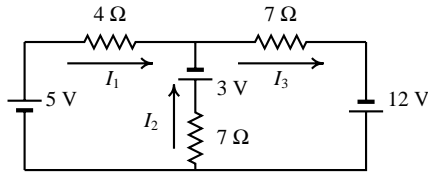
Resposta:

7. Dois condensadores com capacidades $1.0 \mu\text{F}$ e $2.0 \mu\text{F}$ são ligados em série a uma fonte de 1.2 kV . A carga em cada condensador será:

(A) 0.40 mC (C) 1.2 mC (E) 3.6 mC
(B) 0.80 mC (D) 1.8 mC

Resposta: ☐

8. Qual é a equação da malha do lado direito no circuito?



(A) $15 - 7I_2 + 7I_3 = 0$ (D) $9 - 7I_2 - 7I_3 = 0$
(B) $9 + 7I_2 - 7I_3 = 0$ (E) $15 - 7I_2 - 7I_3 = 0$
(C) $9 - 7I_2 + 7I_3 = 0$

Resposta: ☐

9. Num sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z) (em metros), existe uma carga pontual de 2 nC em $(1,0,0)$, uma carga pontual de -4 nC em $(0,2,0)$ e uma carga pontual de 3 nC em $(0,0,4)$. Calcule o fluxo eléctrico (em unidades SI) através de uma esfera de raio 3 m , com centro na origem.

(A) 36π (C) -72π (E) -144π
(B) 72π (D) 108π

Resposta: ☐

10. Um campo é dado por $\vec{E} = 3x^2\vec{i} \text{ N/C}$. Calcule a diferença de potencial entre os pontos, sobre o eixo dos x , em $x = 2 \text{ m}$ e $x = 1 \text{ m}$ (nomeadamente $V(2) - V(1)$)

(A) -21 V (C) -2.3 V (E) $+2.3 \text{ V}$
(B) -7.0 V (D) 0

Resposta: ☐

11. Em relação ao potencial electrostático, qual das seguintes afirmações é correcta?

(A) As unidades do potencial são N/C .
(B) O potencial é uma grandeza vectorial.
(C) As superfícies equipotenciais são perpendiculares às linhas de campo eléctrico.
(D) O potencial num ponto do espaço pode ser medido directamente com um voltímetro.
(E) As superfícies equipotenciais de uma carga pontual são cubos com centro na carga.

Resposta: ☐

12. Se o campo magnético aponta para o norte, em que direcção será a força magnética sobre uma partícula com carga positiva que se desloca para o oeste?

(A) para cima (D) para baixo
(B) para o oeste (E) para o este
(C) para o sul

Resposta: ☐

13. Dois fios rectilíneos e paralelos, separados por uma distância de 6 cm , transportam correntes de 760 mA , em sentidos opostos. Calcule o módulo do campo magnético no ponto P, no meio entre os dois fios.

(A) $5 \mu\text{T}$ (C) $10 \mu\text{T}$ (E) $6 \mu\text{T}$
(B) 0 (D) $12 \mu\text{T}$

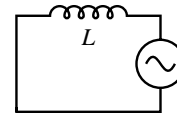
Resposta: ☐

14. Uma condição necessária e suficiente para que exista uma fem induzida num circuito fechado é a existência de:

(A) corrente eléctrica através do circuito.
(B) fluxo magnético variável através do circuito.
(C) campo magnético variável através do circuito.
(D) movimento do circuito em relação ao campo magnético.
(E) cargas de condução no circuito.

Resposta: ☐

15. No circuito da figura, se aumentarmos a frequência da fonte, o que acontece à corrente eficaz?



(A) aumenta.
(B) diminui.
(C) permanece constante.
(D) poderá aumentar ou diminuir, dependendo da frequência inicial.
(E) poderá aumentar ou diminuir, dependendo do valor de L .

Resposta: ☐

16. Para um amplificador operacional ideal com realimentação negativa, qual das seguintes afirmações não é verdadeira?

(A) A corrente na saída é praticamente nula.
(B) O potencial nas entradas $+$ e $-$ são aproximadamente iguais.
(C) As correntes nas entradas são praticamente nulas.
(D) O potencial na saída e na entrada $+$ são aproximadamente iguais.
(E) O potencial na saída e na entrada $-$ são aproximadamente iguais.

Resposta: ☐

17. Uma antena de uma estação de rádio é uma torre de 75 m de altura, que corresponde a um quarto do comprimento de onda. Outro quarto do comprimento de onda é obtido por reflexão no solo. Calcule a frequência das ondas de rádio dessa estação.

(A) 10 kHz (C) 1 MHz (E) 92.5 MHz
(B) 75 kHz (D) 300 kHz

Resposta: ☐

NOME: _____ LOG-IN FEUP: _____

Exame de recurso

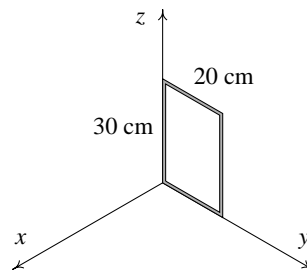
13 de Fevereiro de 2009

Duração: Duas horas. Com consulta de formulário e uso de calculadora.

1. (4 valores). Um fio de níquel-cromo de 2.1 mm de diâmetro vai ser usado para construir uma caldeira de água que produza 9 g de vapor de água por segundo. A fonte de alimentação a ser usada fornece tensão contínua de 220 V. Calcule o comprimento que deve ter o fio. (O calor de evaporação da água é de 2257.2 J/g. A 20°C a resistividade do níquel-cromo é $1 \mu\Omega \cdot m$ e o coeficiente de temperatura é $0.0004^\circ C^{-1}$.)
2. (4 valores). Uma espira condutora rectangular com arestas de 20 cm e 30 cm encontra-se sobre o plano yz, com um vértice na origem, como se mostra na figura. A partir do instante $t = 0$ aparece na região onde se encontra a espira um campo magnético variável com componentes (unidades SI):

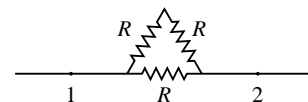
$$B_x = 6t^2 - 4 \quad B_y = 5t^3 \quad B_z = 0$$

(a) Calcule a *fem* induzida na espira, em função do tempo t , a partir do instante $t = 0$. (b) Diga (justificando) qual é o sentido da corrente induzida na espira.

**PERGUNTAS**

Cotação: Total, 12 valores. Cada resposta certa, 0.8, erradas, -0.2, em branco, 0. Arredonde as suas respostas ao número de algarismos significativos usados nas respostas dadas.

3. Uma esfera metálica montada num suporte isolador liga-se à terra com um fio condutor e a seguir aproxima-se da esfera uma barra de plástico com carga positiva. A ligação da esfera à terra é retirada e a seguir afasta-se a barra de plástico. Com que carga fica a esfera metálica?
- (A) nula
(B) positiva
(C) negativa
(D) diferente de zero, mas não é possível saber o sinal.
(E) positiva num extremo e negativa no extremo oposto.
5. Uma resistência transporta uma corrente I . A potência dissipada na resistência é P . Qual será a potência dissipada se a mesma resistência transportar uma corrente $3I$?
- (A) $9/P$ (C) $P/3$ (E) P
(B) $9P$ (D) $3P$
6. A diferença de potencial entre os pontos 1 e 2 é V . As três resistências têm o mesmo valor R . Calcule a corrente que passa do ponto 1 para o ponto 2.



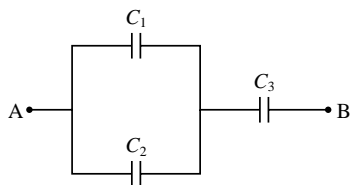
4. Liga-se uma pilha entre os extremos A e B de uma barra feita de um material semiconductor do tipo P. O eléctrodo positivo foi ligado em A e o negativo em B. Qual será o sentido da corrente?
- (A) de A para B.
(B) de B para A.
(C) dependerá da fem da pilha.
(D) dependerá do tipo de pilha.
(E) no semiconductor não pode passar corrente.

- (A) $\frac{2V}{3R}$ (C) $\frac{V}{3R}$ (E) $\frac{3V}{2R}$
(B) $3VR$ (D) $\frac{3VR}{2}$

Resposta:

7. Três condensadores são ligados como se indica na figura, onde $C_1 = C_3 = 2.5 \mu F$ e $C_2 = 5.0 \mu F$. Se a diferença de potencial entre os pontos A e B for 9.0 V, qual será aproximadamente a carga no condensador C_3 ?

Resposta:



- (A) $90 \mu\text{C}$ (C) $4.2 \mu\text{C}$ (E) $17 \mu\text{C}$
 (B) $4.8 \mu\text{C}$ (D) $37 \mu\text{C}$

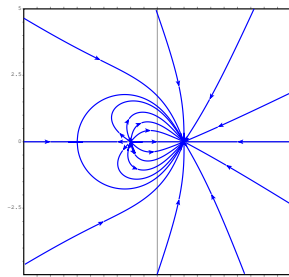
Resposta:

8. Um condensador de $720 \mu\text{F}$, inicialmente descarregado, é carregado ligando uma pilha de 1.5 V , com resistência interna de 85Ω . Calcule a carga no condensador 0.1 s após ter sido ligada a pilha.

- (A) $1080 \mu\text{C}$ (C) $210 \mu\text{C}$ (E) $936 \mu\text{C}$
 (B) $869 \mu\text{C}$ (D) $465 \mu\text{C}$

Resposta:

9. O gráfico mostra as linhas de campo eléctrico de um sistema de duas cargas pontuais. O que é que podemos afirmar em relação às cargas das duas partículas?



- (A) As duas cargas são positivas.
 (B) As duas cargas são negativas.
 (C) A carga com maior valor absoluto é a do lado direito.
 (D) As duas cargas são iguais.
 (E) A carga com maior valor absoluto é a do lado esquerdo.

Resposta:

10. Uma carga de $2 \mu\text{C}$ encontra-se dentro de um campo eléctrico com módulo igual a $4 \times 10^5 \text{ N/C}$. Qual é o trabalho necessário para deslocar essa carga uma distância de 10 cm numa direcção a 60° com o campo eléctrico?

- (A) 0.07 J (C) 40 mJ (E) 8 J
 (B) 0.08 J (D) 7 J

Resposta:

11. Um ponto encontra-se a 2.5 cm de uma carga pontual $Q_1 = +4.5 \text{ nC}$ e a 2.0 cm de outra carga Q_2 . Sabendo que o potencial no ponto é igual a 3.2 kV , calcule o valor da carga Q_2

- (A) 2.7 nC (C) 1.1 nC (E) 5.5 nC
 (B) 4.4 nC (D) 3.5 nC

Resposta:

12. Uma partícula alfa é formada por dois prótons mais dois neutrões. Se uma partícula alfa se deslocar com velocidade igual a $6.15 \times 10^5 \text{ m/s}$, numa direcção perpendicular a um campo magnético com módulo $B = 0.27 \text{ T}$, qual será o valor da força magnética sobre a partícula?

- (A) $5.3 \times 10^{-14} \text{ N}$ (D) zero
 (B) $3.3 \times 10^5 \text{ N}$ (E) $4.8 \times 10^5 \text{ N}$
 (C) $2.7 \times 10^{-14} \text{ N}$

Resposta:

13. Coloca-se um pequeno íman dentro de um campo magnético externo uniforme. Qual será o resultado?

- (A) O íman desloca-se no sentido das linhas do campo externo.
 (B) O íman desloca-se no sentido oposto das linhas do campo externo.
 (C) O íman roda até que o pólo norte aponta no sentido das linhas do campo externo e o pólo sul no sentido oposto.
 (D) O íman roda até que o pólo sul aponta no sentido das linhas do campo externo e o pólo norte no sentido oposto.
 (E) O íman roda até que a linha que passa pelos pólos fica perpendicular às linhas do campo externo.

Resposta:

14. Um indutor com indutância igual a 3 mH é ligado a uma fonte ideal de 1.5 V . Após 2 segundos, a corrente no indutor é de 2 mA . Calcule a força electromotriz média induzida no indutor durante esse intervalo.

- (A) 3 V (C) $3 \mu\text{V}$ (E) 0.75 V
 (B) 3 mV (D) 1.5 V

Resposta:

15. Um indutor de 1.0 H e um condensador de $0.20 \mu\text{F}$ estão ligados em série com uma fonte de corrente alternada com frequência de 60 Hz e tensão eficaz de 110 V . Calcule o ângulo de desfase do sistema.

- (A) zero. (C) 90° (E) -90°
 (B) infinito. (D) 0.707

Resposta:

16. Qual dos seguintes circuitos é útil para medir a carga num condensador?

- (A) Amplificador inversor.
 (B) Amplificador não inversor.
 (C) Integrador.
 (D) Seguidor.
 (E) Derivador.

Resposta:

17. Uma onda electromagnética propaga-se no sentido positivo do eixo dos z . Num certo ponto e num certo instante, o módulo do campo eléctrico da onda é 1.5 V/m , no sentido positivo do eixo dos y . Calcule o campo magnético no mesmo ponto e no mesmo instante.

- (A) 5 nT , no sentido positivo do eixo dos y .
 (B) 5 nT , no sentido negativo do eixo dos y .
 (C) 5 nT , no sentido positivo do eixo dos x .
 (D) 5 nT , no sentido negativo do eixo dos x .
 (E) 5 nT , no sentido negativo do eixo dos z .

Resposta:

B Criação de testes usando Maxima

A listagem seguinte é o código Maxima que deu origem às duas perguntas dos testes da figura 3.9.

```
p01001([par]) := block([answers,order,n:length(par),e1,e2,p1,p2,ps1,num,letra],
order: if (n > 4) then rest(par,5-n) else random_permutation([1,2,3,4,5]),
e1: if (n > 5) then par[6] else random(2)+1,
e2: if (n > 6) then par[7] else random(2)+1,
num: e1+2*(e2-1),
letra: ["a","b","c","d"][num],
p1: ["protão","electrão"][e2],
p2: ["electrão","protão"][e2],
ps1: ["protões","electrões"][e2],
answers: permute([[1,2,3,4,5],[3,1,2,4,5],[2,1,3,4,5],[5,1,2,3,4]][num],order),
printf(true,
"%%eic001401001~a
\\item Dois ~a e um ~a encontram-se nos vértices de um
    triângulo equilátero. Qual dos vectores representa melhor a força
    eléctrica resultante sobre o ~a que está na origem?
\\begin{center}
    \\includegraphics[scale=0.8]{eic0014_p01001~a}
\\end{center}
\\begin{answers2}
~{    \\item ~d~~~%~}
    \\end{answers2}~~%",
concat(apply(concat,order),e1,e2), ps1, p2, p1, letra, answers))$

p05003([par]) := block([answers,order,n:length(par),E,r,c,t,q,R,C],
order: if (n > 4) then rest(par,5-n) else random_permutation([1,2,3,4,5]),
E: if (n > 5) then par[6] else random(8)+2,
r: if (n > 6) then par[7] else random(3)+1,
c: if (n > 7) then par[8] else random(3)+1,
t: if (n > 8) then par[9] else random(2)+1,
R: [85,92,120][r],
C: [680,720,732][c],
q: C*E*(1-exp(-t/(10*C*1e-6*R))),
answers: permute([q,1.4*q,0.2*q,0.8*q,0.3*q], order),
printf(true,
concat("%%eic001405003~a
\\item Um condensador de ~d~~$\\mu$F, inicialmente descarregado, é
    carregado ligando uma pilha de ~d~~V, com resistência interna de
    ~d~~$\\Omega$. Calcule a carga no condensador 0.~d~~s após ter sido
```

```

ligada a pilha.
\\begin{answers2}
~{
  \\item ~,1f~~$\\mu$C~^~%~}
  \\end{answers2}~%"),
concat(apply(concat,order),E,r,c,t),C,E,R,t,answers))$

```

